

УДК 628.337+621.355.8+661.873.23+66.087.7

doi:10.20998/2413-4295.2017.53.12

ПОЛУЧЕНИЕ ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ МЕТОДОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГОМОГЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ

В. Л. КОВАЛЕНКО^{*1,4}, В. А. КОТОК^{2,4}, А. С. БАСКЕВИЧ³¹ кафедра аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА² кафедра процессов и аппаратов и общей химической технологии, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА³ кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА⁴ кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических производств, ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

*email: vadimchem@gmail.com

АННОТАЦИЯ Гидроксид никеля является активным веществом суперконденсаторов, которые широко используются в качестве источника питания различных электрических и электронных устройств. Для использования в суперконденсаторах необходим гидроксид никеля с высокими электрохимическими характеристиками, при этом технология синтеза должна быть энергосберегающей. Одним из наиболее перспективных методов синтеза гидроксида никеля является гомогенное осаждение, проводимое путем гидротермальной обработки при 90-95 °С раствора нитрата никеля и мочевины. Недостатком метода является высокая энергозатратность. В работе предложен метод низкотемпературного гомогенного осаждения гидроксида никеля. Методом РФА показано, что полученный гидроксид представляет из себя альфа-форму невысокой кристалличности. Изучены электрохимические характеристики образца никель гидроксида, полученного предложенным методом. Показаны высокие удельные ёмкости 110-190 Ф/г 70-115 мА*ч/г. **Ключевые слова:** гидроксид никеля; низкотемпературное гомогенное осаждение; суперконденсатор; удельная ёмкость.

THE OBTAINING OF NICKEL HYDROXIDE BY LOW TEMPERATURE HOMOGENEOUS PRECIPITATION METHOD

V. L. KOVALENKO^{1,4*}, V. A. KOTOK^{2,4}, A. S. BASKEVICH³¹ The Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, SHEI USUCT, Dnipro city, UKRAINE² The Department of Processes, Apparatus and General Chemical Technology SHEI USUCT Dnipro city, UKRAINE³ The Department of Technologies of Inorganic Substances and Ecology, SHEI USUCT Dnipro city, UKRAINE⁴ The Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, FSBEI HE Vyatka State University, Kirov city, RUSSIAN FEDERATION

ABSTRACT Nickel hydroxide is used as an active substance of supercapacitors, which are widely used as power sources for various electric devices and electronics, especially for starting and working of the difference electric engines and in the uninterrupted power supply devices. According to high speed of the charge-discharge process, for using in the supercapacitors nickel hydroxide must have high electrochemical activities, and synthesis technology must be energy saving. One of the perspective method of the nickel hydroxide synthesis is homogeneous precipitation, carried out by hydrothermal treatment of solution of nickel nitrate and carbamide under 90-95 °C. The disadvantage of this method is high energy consumption. The new method of low temperature homogeneous precipitation of the nickel hydroxide under room temperature has been proposed. Precipitation duration of proposed method was 6 month. Nickel hydroxide obtained by proposed low temperature homogeneous precipitation has been characterized. By XRD method it was shown that nickel hydroxide is α -Ni(OH)₂ with low crystallinity. Electrochemical characteristics of nickel hydroxide, obtained by proposed method, have been investigated. Cycling voltammogram show that nickel hydroxide, obtained by proposed method, have high electrochemical activity and high reversibility. By galvanostatic charge-discharge cycling in the supercapacitor mode it was shown high electrochemical capacities 110-190 F/g and 70-115 mA*h/g. Also it was indicated that increasing of discharge current density give the increasing of specific capacity of nickel hydroxide as a result of the particles destruction.

Keywords: nickel hydroxide; low temperature homogeneous precipitation; supercapacitor; specific capacities.

Введение

Суперконденсаторы (СК) являются современными химическими источниками тока и широко применяются для запуска электродвигателей в автомобилях, насосных станциях, электроинструменте и других устройствах. Гибридные суперконденсаторы являются наиболее перспективными. К гидроксиду никеля, как активному веществу Фарадеевского электрода, из-за

высокой скорости заряда-разряда предъявляются специальные требования [1,2] к удельной поверхности, кристаллической структуре и электрохимической активности. Гидроксид никеля применяют как самостоятельно [3], в виде наноразмерного [4] или ультрадисперсного порошка [5], так и в виде композита с нанокремнеземными материалами (оксидом графена [6], углеродными нанотрубками [7]).

Существуют различные методы синтеза гидроксида никеля. Получение гидроксида никеля проводится химическим осаждением путем прямого синтеза (добавления щелочного раствора к раствору соли никеля) [8], обратного синтеза (добавления раствора соли никеля к раствору щелочи) [9, 10], двухступенчатого высокотемпературного синтеза [11], использования золь-гель метода [12]. Так же для получения используются электрохимические методы [13, 14], в т.ч. синтез в щелевом диафрагменном электролизере [15, 16].

Для гидроксида никеля известны две модификации [17]. β -форма (химическая формула $\text{Ni}(\text{OH})_2$, брусито-подобная структура) и α -форма (химическая формула $3\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, гидротальцитоподобная структура). β - $\text{Ni}(\text{OH})_2$ отличается высокой стабильностью при циклировании, однако имеет более низкие электрохимические характеристики. α - $\text{Ni}(\text{OH})_2$ имеет значительно более высокие электрохимические характеристики, чем β - $\text{Ni}(\text{OH})_2$ и более эффективно может использоваться в гибридных суперконденсаторах.

Метод синтеза и условия проведения напрямую определяют микро- и макроструктуру частиц, что обуславливает электрохимические свойства гидроксида никеля. Для эффективного использования в суперконденсаторах гидроксид никеля должен обладать определенными свойствами [18], в частности быть α - $\text{Ni}(\text{OH})_2$ с оптимальной кристалличностью и частицами субмикронного [5] и наноразмера [4, 19].

Перспективным для получения гидроксида никеля с вышеуказанными свойствами является метод гомогенного осаждения [20]. Сущность метода состоит в том, что ионы-осадители OH^- образуются по всему объему раствора в результате термического гидролиза аминоксоединений (мочевина [21, 22], гексаметилентетрамина [23]). Гомогенное осаждение может проводиться как в водных растворах, так и при использовании смешанных растворителей [24] или в неводных растворителях [25]. Для получения ультрадисперсного гидроксида гомогенное осаждение проводится при высоких температурах 140–180 °С. Так же для этой цели используется микроволновой нагрев [26] или темплатный синтез [27].

Основным недостатком метода гомогенного осаждения является проведение при высоких температурах, т.е. фактически высокая энергозатратность. Поэтому перспективным является снижение температуры гомогенного осаждения.

Цель работы

- 1) Предложить низкотемпературный метод гомогенного осаждения.
- 2) Получить гидроксид никеля по предложенному методу и изучить его характеристики

Изложение основного материала

Методика исследований

В ходе исследования использовались реактивы $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{NH}_2)_2\text{CO}_2$ квалификации «х.ч».

Метод синтеза гидроксида никеля. Гомогенное осаждение гидроксида никеля проводилось в растворе, содержащем нитрат никеля (1 М) и мочевины (1 М). получения никель гидроксид отделялся от маточного раствора на воронке Бюхнера с помощью вакуум насоса. После получения $\text{Ni}(\text{OH})_2$ сушился при 80 °С, размалывался и просеивался, отмывался от растворимых солей, и снова сушился.

Методы изучения образцов гидроксида никеля.

1) Структуру, морфологию и химический состав поверхности изучали рентгенофазовым анализом и сканирующей электронной микроскопией. 2) электрохимическую активность определяли методом циклической вольтамперометрии. Снятие циклических кривых проводили с помощью потенциостата Ellins P-8. Образец гидроксида в смеси с графитом и ПТФЭ наносился на рабочий электрод: никелевую сетку, приваренную на никелевую фольгу. Циклировали в интервале потенциалов 0-500 мВ в 6М растворе КОН, электрод сравнения хлорсеребряный, противозлектрод – никелевая сетка. 3) электрохимические характеристики для использования в суперконденсаторе определяли зарядно-разрядным циклированием. Циклирование проводили с помощью потенциостата Ellins P-8. Образец гидроксида в смеси с графитом и ПТФЭ наносился на рабочий электрод, изготовленный из пеноникеля. Электролит 6М КОН, электрод сравнения хлорсеребряный, противозлектрод – никелевая сетка. Плотности тока циклирования: 20, 40, 60, 80, 120 мА/см² (по 10 циклов).

Обсуждение результатов

Разработка метода низкотемпературного гомогенного осаждения.

Известно, что в растворе мочевины (карбамид) подвергается гидролизу при любых температурах, только скорость процесса при этом будет разной. Поэтому гомогенное осаждение гидроксида никеля проводилось при комнатной температуре в течении 6 месяцев.

Изучение структурных характеристик.

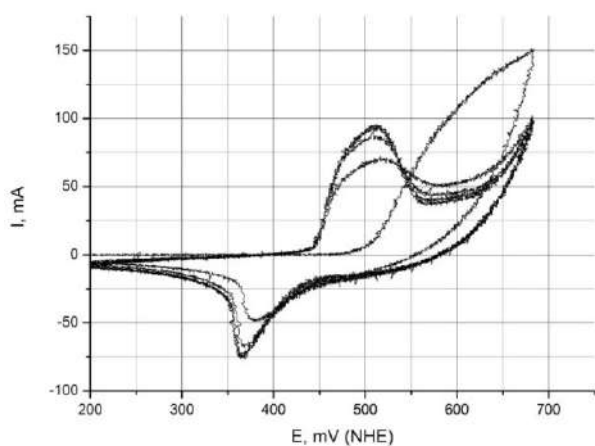
Рентгеновская дифрактограмма полученного образца никель гидроксида показала наличие альфа-формы ($2\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) невысокой кристалличности. Фото СЭМ показали, что частицы представляют из себя слоистые агрегаты, состоящие из субмикронных и наноразмерных частиц.

Результаты циклической вольтамперометрии.

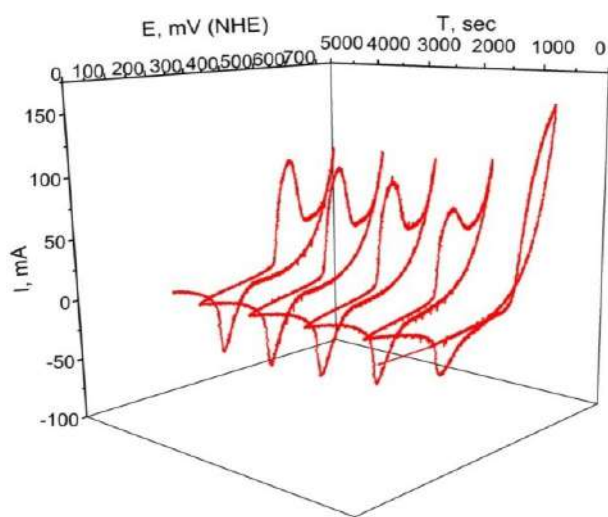
Циклическая вольтамперограмма (ЦВА) никель гидроксида, синтезированного методом гомогенного осаждения (рис. 1) характерна именно для альфа-

формы. Полученный образец характеризуется высокой и стабильной электрохимической активностью, при этом имеет высокую обратимость: разность потенциалов анодного и катодного пиков составляет 140 мВ.

Результаты зарядно-разрядного циклирования в режиме суперконденсатора. На рис. 2-6 показаны удельные ёмкости полученного порошка никель гидроксида в при гальваностатическом циклировании в режиме суперконденсатора при разных плотностях тока (по оси X – номер цикла).

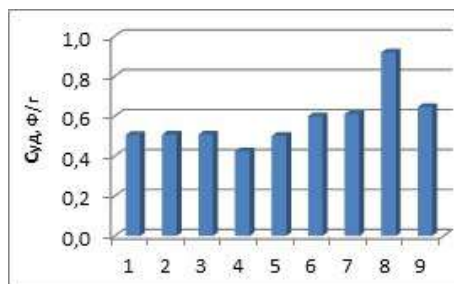


а)

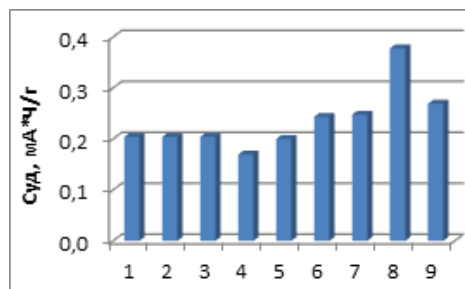


б)

Рис. 1 – ЦВА $\text{Ni}(\text{OH})_2$, полученного холодным гомогенным осаждением. а – 2D, б – 3D

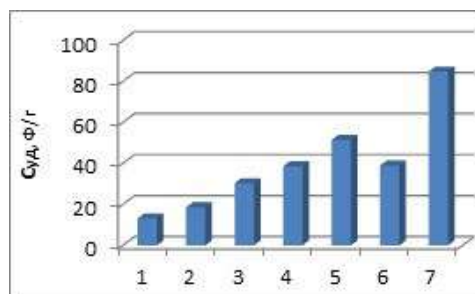


а)

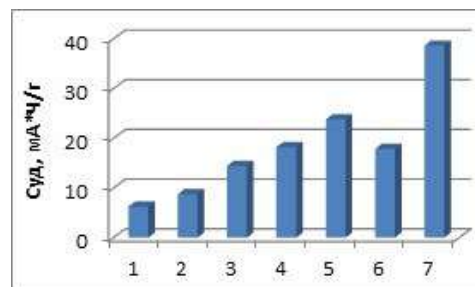


б)

Рис. 2 – Удельные ёмкости $\text{Ni}(\text{OH})_2$, полученного холодным гомогенным осаждением при $i = 10 \text{ мА/см}^2$

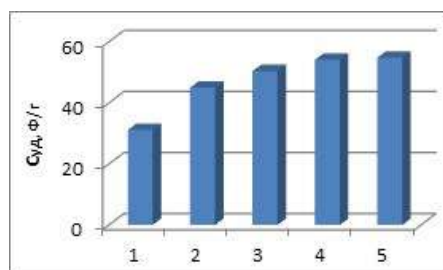


а)

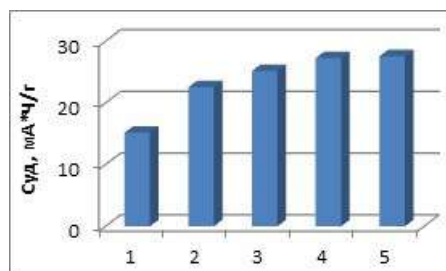


б)

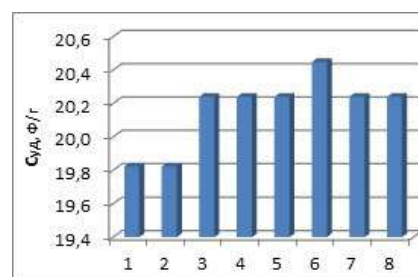
Рис. 3 – Удельные ёмкости $\text{Ni}(\text{OH})_2$, полученного холодным гомогенным осаждением при $i = 20 \text{ мА/см}^2$



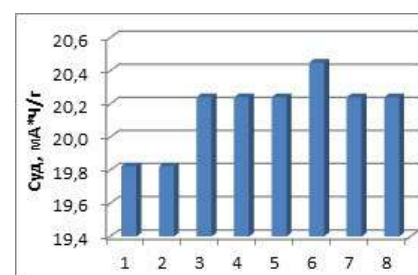
а)



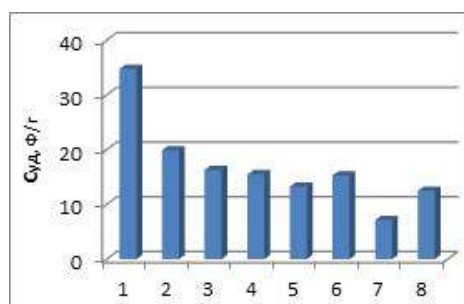
б)

Рис. 4 - Удельные емкости Ni(OH)_2 , полученного холодным гомогенным осаждением при $i = 40 \text{ мА/см}^2$ 

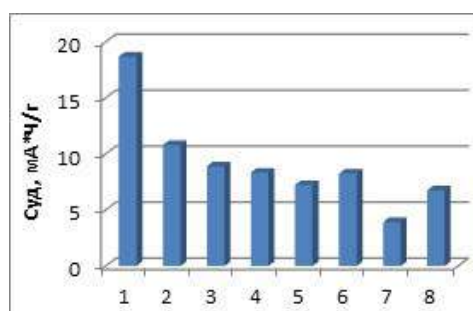
а)



б)

Рис. 6 – Удельные емкости Ni(OH)_2 , полученного холодным гомогенным осаждением при $i = 120 \text{ мА/см}^2$ 

а)



б)

Рис. 5 – Удельные емкости Ni(OH)_2 , полученного холодным гомогенным осаждением при $i = 80 \text{ мА/см}^2$

Зарядно-разрядное циклирование показало удельные ёмкости образцов 95-180 Ф/г (60-110 мА*ч/г). Следует указать, что при низких плотностях тока удельная ёмкость невелика, однако при повышении плотности тока циклирования ёмкость резко возрастает. Вероятно этот эффект объясняется распадом агрегатов на более мелкие частицы с высокой электрохимической активностью. Такое предположение подтверждено специальным экспериментом, когда проциклированный никель гидроксид был извлечён из раствора 6М КОН и оставлен на воздухе в течении 24 часов. После этого повторное циклирование показало существенно более высокую удельную ёмкость. Но при высокой плотности тока удельная ёмкость падает, что объясняется отрывом активной массы от пеноникелевой основы из-за неоптимизированного метода её нанесения.

Выводы

1) Предложен новый тип гомогенного осаждения никель гидроксида из раствора нитрата никеля в присутствии мочевины, при комнатной температуре в течении 6 месяцев.

2) Предложенным методом получены образцы гидроксида никеля. Методом РФА показано, что полученный гидроксид представляет из себя альфа-форму невысокой кристалличности. Изучены электрохимические характеристики образца никель гидроксида, полученного предложенным методом. Показаны высокие характеристики: удельные ёмкости образцов составили 110-190 Ф/г и 70-115 мА*ч/г .

Список литературы

1. **Simon, P.** Materials for electrochemical capacitors / **P. Simon, Yu. Gogotsi** // *Nat. Mater.* – 2008. – 7 (11). – P. 845–854. – doi: 10.1038/nmat2297.
2. **Burke, A.** R&D considerations for the performance and application of electrochemical capacitors / **A. Burke** // *Elec. Acta.* – 2007. – 53. – P. 1083 – 1091. – doi: 10.1016/j.electacta.2007.01.011.
3. **Jun-Wei, L.** Asymmetric supercapacitors based on stabilized α -Ni(OH)₂ and activated carbon / **L. Jun-Wei [at al.]** // *J. Solid State Electrochem.* – 2010. – 14. – P. 1533–1539. – doi: 10.1007/s10008-009-0984-1.
4. **Jun-Wei, L.** A facile approach to the preparation of loose-packed Ni(OH)₂ nanoflake materials for electrochemical capacitors / **L. Jun-Wei [at al.]** // *J. Solid State Electrochem.* – 2009. – 13. – P. 333–340. – doi: 10.1007/s10008-008-0560-0.
5. **Aghazadeh, M.** Electrochemical preparation of α -Ni(OH)₂ ultrafine nanoparticles for high-performance supercapacitors / **M. Aghazadeh [at al.]** // *J. Solid State Electrochem.* – 2014. – 18. – P. 1569–1584. – doi: 10.1007/s10008-014-2381-7.
6. **Cui-Hong, Z.** Excellent supercapacitive performance of a reduced graphene oxide/Ni(OH)₂ composite synthesized by a facile hydrothermal route / **Z. Cui-Hong [at al.]** // *J. Cent. South Univ.* – 2014. – 21. – P. 2596–2603. – doi: 10.1007/s11771-014-2218-7.
7. **Bo, W.** Hierarchical NiAl Layered Double Hydroxide/Multiwalled Carbon Nanotube/Nickel Foam Electrodes with Excellent Pseudocapacitive Properties / **W. Bo, W.R. Gareth [at al.]** // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* – 2014. – 6. – P. 16304–16311. – doi: 10.1021/am504530e.
8. **Solovov, V.** Influence of temperature on the characteristics of Ni(II), Ti(IV) layered double hydroxides synthesised by different methods / **V. Solovov, V. Kovalenko, N. Nikolenko, V. Kotok, E. Vlasova** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2017 – № 1/6(83). – P. 16–22. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.90873.
9. **Liu, C.** Synthesis and electrochemical performance of amorphous nickel hydroxide codoped with Fe³⁺ and CO₂– / **C. Liu, L. Huang, Y. Li, D. Sun** // *Ionics.* – 2010. – 16. – P. 215–219.
10. **Li, J.** A facile approach to synthesis coral-like nanoporous β -Ni(OH)₂ and its supercapacitor application / **J. Li [at al.]** // *J. Power Sources.* – 2013. – 243. – P. 721–727. – doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.172.
11. **Kovalenko, V. L.** Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications / **V. L. Kovalenko, V. A. Kotok, A. A. Sykchin, I. A. Mudryi, B. A. Ananchenko, A. A. Burkov, V. A. Solovov, S. Deabate, A. Mehdi, J.-L. Bantignies, F. Henn** // *J. Solid State Electrochem.* – 2017. – № 21 – P. 683 – 691. – doi: 10.1007/s10008-016-3405-2.
12. **Xiao-yan, G.** Preparation and electrochemical performance of nanoscale nickel hydroxide with different shapes / **G. Xiao-yan, D. Jian-cheng** // *Material Letter.* – 2007. – 61. – P. 621–625. – doi: 10.1016/j.matlet.2006.05.026.
13. **Tizfahm, J.** Supercapacitive behavior of β -Ni(OH)₂ nanospheres prepared by a facile electrochemical method / **J. Tizfahm, B. Safibonab [at al.]** // *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* – 2014. – 443. – P. 544–551. – doi: 10.1016/j.colsurfa.2013.12.024.
14. **Aghazadeh, M.** Synthesis, characterization, and electrochemical properties of ultrafine β -Ni(OH)₂ nanoparticles / **M. Aghazadeh, A. N. Golikand, M. Ghaemi** // *Int. J. Hydrogen Energy.* – 2011. – 36. – P. 8674–8679. – doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.03.144.
15. **Kovalenko, V.** Obtaining of Ni-Al layered double hydroxide by slit diaphragm electrolyzer / **V. Kovalenko, V. Kotok** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2017 – № 2/6(86). – P. 11 – 17. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.95699.
16. **Kovalenko, V. L.** The synthesis of nickel hydroxide by electrolysis from nickel nitrate solution in the slit diaphragm electrolyzer. Electrochemical properties / **V. L. Kovalenko, V. A. Kotok** // *Collection of research papers of National mining university.* – 2015. – №49. – P. 181–186.
17. **Hall, D. S.** Raman and Infrared spectroscopy of α and β phases of thin nickel hydroxide films electrochemically formed on nickel / **D.S. Hall, D.J. Lockwood [at. al]** // *J. Phys. Chem. A.* – 2012. – № 116. – P. 6771–6784. – doi: 10.1021/jp303546r.
18. **Kovalenko, V.** Definition of factors influencing on Ni(OH)₂ electrochemical characteristics for supercapacitors / **V. Kovalenko, V. Kotok, A. Bolotin** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2016. – № 5/6(83). – P. 17 – 22. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.79406.
19. **Meng, Hu.** Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide Ni₄Al(OH)₁₀NO₃ / **Hu Meng, Lei Lixu** // *J. Solid State Electrochem.* – 2007. – 11, . – P. 47–852. – doi: 10.1007/s10008-006-0231-y.
20. **Bora, M.** Homogeneous precipitation of nickel hydroxide powders / **M. Bora** // *Retrospective Theses and Dissertations.* – 2013. – P. 731.
21. **Tang, H. W.** Preparation and characterization of nanoscale nickel hydroxide using hydrothermal synthesis method / **H.W. Tang, J.L. Wang, Z.R. Chang** // *J. Func. Mater.* – 2008. – 39(3). – P. 469–476.
22. **Yongfu, T.** Hydrothermal synthesis of a flower-like nano-nickel hydroxide for high performance supercapacitors / **Tang Yongfu, Liu Yanyan[at al.]** // *Electrochimica Acta.* – 2014. – 123. – P. 158–166. – doi: 10.1016/j.electacta.2013.12.187.
23. **Li-Xia, Y.** Hydrothermal synthesis of nickel hydroxide nanostructures in mixed solvents of water and alcohol / **Y. Li-Xia, Z. Ying-Jie, T. Hua, L. Zhen-Hua** // *J. Solid State Chem.* – 2007. – 180. – P. 2095–2101. – doi: 10.1016/j.jssc.2007.05.009.
24. **Cui, H. L.** Synthesis of flower-like nickel hydroxide by ionic liquids-assisted / **H.L. Cui, M.L. Zhang.** // *J. Yanan Univ.* – 2009. – 28(2). – 76–83.
25. **Linping, X.** 3D Flowerlike r-Nickel Hydroxide with Enhanced Electrochemical Activity Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Method / **X. Linping [at al.]** // *Chem. Mater.* – 2008. – 20. – P. 308–316. – doi: 10.1021/cm702207w.
26. **Cordoba de Torresi, S.I.** Effect of Additives in the Stabilization of the α Phase of Ni(OH)₂ Electrodes / **S.I. Cordoba de Torresi [at al.]** // *J. Electrochem. Soc.* – 148. – P. A1179-A1184. – doi: 10.1149/1.1403731.
27. **Kovalenko, V.** Study of the influence of the template concentration under homogeneous preprecipitation on the properties of ni(oh)₂ for supercapacitors / **V. Kovalenko, V. Kotok** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* – 2017. – № 4/6(88). – P. 17 – 22.

Bibliography (transliterated)

1. Simon, P., Gogotsi, Yu. Materials for electrochemical capacitors. *Nat. Mater.* 2008, **7** (11), 845–854. – doi: 10.1038/nmat2297.
2. Burke, A. R&D considerations for the performance and application of electrochemical capacitors. *Elec. Acta*, 2007, **53**, 1083–1091. – doi: 10.1016/j.electacta.2007.01.011.
3. Jun-Wei, L. [at al.] Asymmetric supercapacitors based on stabilized α -Ni(OH)₂ and activated carbon. *J. Solid State Electrochem.* 2010, **14**, 1533–1539. – doi: 10.1007/s10008-009-0984-1.
4. Jun-Wei, L., Ling-Bin, K. [at al.] A facile approach to the preparation of loose-packed Ni(OH)₂ nanoflake materials for electrochemical capacitors. *J. Solid State Electrochem.* 2009, **13**, 333–340. – doi: 10.1007/s10008-008-0560-0.
5. Aghazadeh, M., Ghaemi, M., Sabour, B., Dalvand, S. Electrochemical preparation of α -Ni(OH)₂ ultrafine nanoparticles for high-performance supercapacitors. *J. Solid State Electrochem.* 2014, **18**, 1569–1584. – doi: 10.1007/s10008-014-2381-7.
6. Cui-Hong, Z., Xin, L., Zhi-Dao, C., Zhen-Fei, W. Excellent supercapacitive performance of a reduced graphene oxide/Ni(OH)₂ composite synthesized by a facile hydrothermal route. *J. Cent. South Univ.* 2014, **21**, 2596–2603. – doi: 10.1007/s11771-014-2218-7.
7. Bo, W. [at al.] Hierarchical NiAl Layered Double Hydroxide/Multiwalled Carbon Nanotube/Nickel Foam Electrodes with Excellent Pseudocapacitive Properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2014, **6**, 16304–16311. – doi: 10.1021/am504530e.
8. Solovov, V., Kovalenko, V., Nikolenko, N., Kotok, V., Vlasova E. Influence of temperature on the characteristics of Ni(II), Ti(IV) layered double hydroxides synthesised by different methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **1/6(83)**, 16–22. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.90873.
9. Liu, C., Huang, L., Li, Y., Sun, D. Synthesis and electrochemical performance of amorphous nickel hydroxide codoped with Fe³⁺ and CO₂⁻. *Ionics*, 2010, **16**, 215–219.
10. Li, J. [at al.] A facile approach to synthesis coral-like nanoporous β -Ni(OH)₂ and its supercapacitor application. *J. Power Sources*, 2013, **243**, 721–727. – doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.172.
11. Kovalenko, V.L., Kotok, V.A., Sykchin, A.A., Mudryi, I.A., Ananchenko, B.A., Burkov, A.A., Solovov, V.A., Deabate, S., Mehdi, A., Bantignies, J.-L., Henn, F. Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications. *J. Solid State Electrochem.* 2017, **21**, 683–691. – doi: 10.1007/s10008-016-3405-2.
12. Xiao-yan, G., Jian-cheng D. Preparation and electrochemical performance of nanoscale nickel hydroxide with different shapes. *Mater. Lett.* 2007, **61**, 621–625. – doi: 10.1016/j.matlet.2006.05.026.
13. Tizfahm, J., Safibonab, B., Aghazadeh, M., Majdabadi A., Sabour B., Dalvand S. Supercapacitive behavior of β -Ni(OH)₂ nanospheres prepared by a facile electrochemical method. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2014, **443**, 544–551. – doi: 10.1016/j.colsurfa.2013.12.024.
14. Aghazadeh, M., Golikand, A. N., Ghaemi, M. Synthesis, characterization, and electrochemical properties of ultrafine β -Ni(OH)₂ nanoparticles. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2011, **36**, 8674–8679. – doi: 10.1016/j.ijhydene.2011.03.144.
15. Kovalenko, V., Kotok, V. Obtaining of Ni-Al layered double hydroxide by slit diaphragm electrolyzer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **2/6(86)**, 11–17. – doi: 10.15587/1729-4061.2017.95699.
16. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A. The synthesis of nickel hydroxide by electrolysis from nickel nitrate solution in the slit diaphragm electrolyzer. Electrochemical properties. *Collection of research papers of National mining university*, 2015, **49**, 181–186.
17. Hall, D. S., Lockwood, D. J. [at al.] Raman and Infrared spectroscopy of α and β phases of thin nickel hydroxide films electrochemically formed on nickel. *J. Phys. Chem. A*, 2012, **116**, 6771–6784. – doi: 10.1021/jp303546r.
18. Kovalenko, V., Kotok, V., Bolotin, A. Definition of factors influencing on Ni(OH)₂ electrochemical characteristics for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **5/6(83)**, 17–22. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.79406.
19. Meng, Hu., Lixu, L. Effects of particle size on the electrochemical performances of a layered double hydroxide, Ni₄Al(OH)₁₀NO₃. *J. Solid State Electrochem.* 2007, **11**, 847–852. – doi: 10.1007/s10008-006-0231-y.
20. Bora, M. Homogeneous precipitation of nickel hydroxide powders. *Retrospective Theses and Dissertations*, 2013, 731.
21. Tang, H. W., Wang, J. L., Chang, Z. R. Preparation and characterization of nanoscale nickel hydroxide using hydrothermal synthesis method. *J. Func. Mater.* 2008, **39(3)**, 469–476.
22. Yongfu, T. [at al.] Hydrothermal synthesis of a flower-like nano-nickel hydroxide for high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 2014, **123**, 158–166. – doi: 10.1016/j.electacta.2013.12.187.
23. Li-Xia, Y., Ying-Jie, Z., Hua, T., Zhen-Hua, L. Hydrothermal synthesis of nickel hydroxide nanostructures in mixed solvents of water and alcohol. *J. Solid State Chem.* 2007, **180**, 2095–2101. – doi: 10.1016/j.jssc.2007.05.009.
24. Cui, H. L., Zhang, M. L. Synthesis of flower-like nickel hydroxide by ionic liquids-assisted. *J. Yanan Univ.* 2009, **28(2)**, 76–83.
25. Linping, X. [at al.] 3D Flowerlike r-Nickel Hydroxide with Enhanced Electrochemical Activity Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Method. *Chem. Mater.*, 2008, **20**, 308–316. – doi: 10.1021/cm702207w.
26. Cordoba de Torresi [at al.] Effect of Additives in the Stabilization of the α Phase of Ni(OH)₂ Electrodes. *J. Electrochem. Soc.*, 2001, **148**, A1179–A1184. – doi: 10.1149/1.1403731.
27. Kovalenko, V., Kotok, V. Study of the influence of the template concentration under homogeneous preprecipitation on the properties of ni(oh)₂ for supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, **4/6(88)**, 17–22.

Сведения об авторах (About authors)

Коваленко Вадим Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», доцент кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств; г. Днепр, Украина; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет», доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств; г. Киров, Российская Федерация; e-mail: vadimchem@gmail.com.

Vadym Kovalenko – Ph. D., Associate Professor, State High Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Associate Professor of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics; city Dnepr, Ukraine; Federal State Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Associate Professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing; city Kirov, Russian Federation; e-mail: vadimchem@gmail.com.

Коток Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», доцент кафедры процессов и аппаратов, и общей химической технологии; г. Днепр, Украина; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет», доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств; г. Киров, Российская Федерация; e-mail: valeriykotok@gmail.com.

Valeriy Kotok – Ph. D., Associate Professor, State High Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Associate Professor of Department Processes, Apparatus and General Chemical Technology; city Dnepr, Ukraine; Federal State Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Associate Professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing; city Kirov, Russian Federation; e-mail: valeriykotok@gmail.com.

Баскевич Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории химии и технологии порошковых материалов; г. Днепр, Украина; e-mail: baskev58@gmail.com.

Alexandr Baskevich – Ph. D., State High Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology», Senior Researcher of Scientific Laboratory "Chemistry and Technology of Powered Material"; city Dnepr, Ukraine; e-mail: baskev58@gmail.com.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Коваленко, В. Л. Получение гидроксида никеля методом низкотемпературного гомогенного осаждения / В. Л. Коваленко, В. А. Коток, А. С. Баскевич // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 53 (1274). – С. 77-83. – doi:10.20998/2413-4295.2017.53.12.

Please cite this article as:

Kovalenko, V., Kotok, V., Baskevich, A. The obtaining of nickel hydroxide by low temperature homogeneous precepitation method. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **53** (1274), 77–83, doi:10.20998/2413-4295.2017.53.12.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Коваленко, В. Л. Отримання гідроксиду нікелю методом низькотемпературного гомогенного осадження / В. Л. Коваленко, В. А. Коток, О. С. Баскевич // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 53 (1274). – С. 77-83. – doi:10.20998/2413-4295.2017.53.12.

АНОТАЦІЯ Гідроксид нікелю є активною речовиною суперконденсаторів, які широко використовуються в якості джерела живлення різних електричних та електронних пристроїв. Для використання в суперконденсаторах необхідно використовувати гідроксид нікелю з високими електрохімічними характеристиками, при цьому технологія синтезу повинна бути енергосберігаючою. Одним из найбільш перспективних методів синтезу гідроксиду нікелю є гомогенне осадження, яке проводиться шляхом гідротермальної обробки при 90-95 °С розчину нітрату нікелю та сечовини. Недоліком методу є висока енергозатратність. В роботі запропоновано метод низькотемпературного гомогенного осадження гідроксиду нікелю. Методом РФА показано, що отриманий гідроксид є альфа-формою із невисокою кристалічністю. Вивчені електрохімічні характеристики зразка нікель гідроксиду, отриманого запропонованим методом. Показані високі питомі ємності 110-190 Ф/г 70-115 мА*год/г.

Ключові слова: гідроксид нікелю; низь температурне гомогенне осадження; суперконденсатор; питома ємність.

Поступила (received) 10.12.2017